TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Terças e Quintas de 8:00 às 10:00 hs

prof. Tania S. Klein
tania@eq.ufrj.br
Lab CFD

Aula 23

- Radiação: Processos e Propriedades
  - Emissão de Superfície Real
  - Outras Propriedades Radiantes
  - Lei de Kirchshhoff
  - Superfície Cinzenta

Exercícios do Cap. 12: 29, 41, 50, 53, 69, 71, 102

Emissão de Superfície Real

No caso de uma superfície real, a distribuição de Planck não se aplica e a distribuição direcional não é difusa:

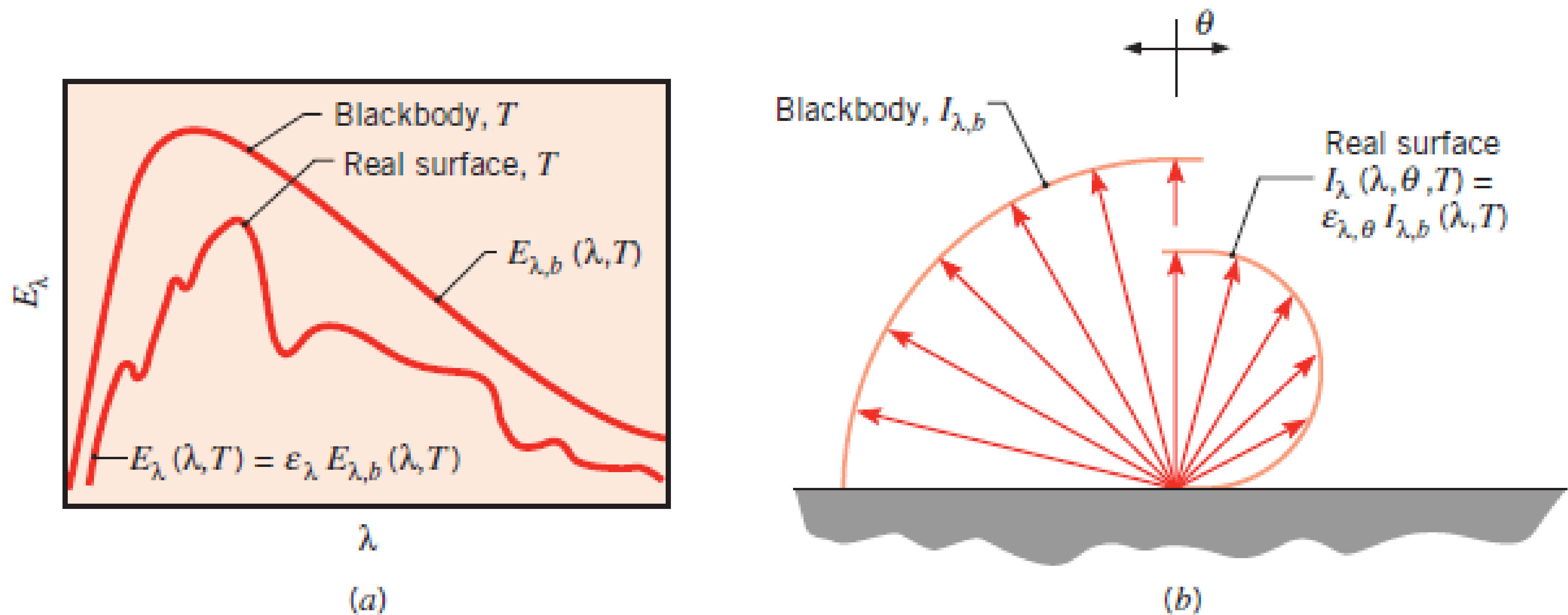


FIGURE 12.15 Comparison of blackbody and real surface emission. (a) Spectral distribution. (b) Directional distribution.

Emissão de Superfície Real

As propriedades radiantes são função de vários parâmetros como: superfície do corpo, temperatura do corpo, comprimento de onda da radiação e de sua direção.

Nas aplicações práticas, utilizam-se as grandezas radiantes médias:

a) Grandezas hemisféricas → as médias são tomadas em relação à direção da radiação
b) Grandezas totais ou globais → as médias são tomadas em relação à direção e ao comprimento de onda da radiação

A emissividade, razão entre a radiação emitida pelo corpo e a radiação emitida por um corpo negro a mesma T, é portanto uma grandeza radiante.

A emissividade espectral hemisférica é então dada por:

$$\varepsilon_\lambda(\lambda, T) \equiv \frac{E_\lambda(\lambda, T)}{E_{\lambda,b}(\lambda, T)}$$

A emissividade hemisférica total é então dada por:

$$\varepsilon(T) \equiv \frac{E(T)}{E_b(T)} = \frac{E(T)}{\sigma T^4} \longrightarrow \varepsilon(T) = \frac{\int_0^\infty \varepsilon_\lambda(\lambda, T) E_{\lambda,b}(\lambda, T)\, d\lambda}{E_b(T)}$$

Emissão de Superfície Real

Embora existam direções preferenciais para a emissão, a emissividade hemisférica não irá diferir de forma acentuada da emissividade normal ε_n (para θ=0º). Normalmente, para materiais condutores, $1{,}0 \leq \varepsilon/\varepsilon_n \leq 1{,}3$ e para não-condutores, $0{,}95 \leq \varepsilon/\varepsilon_n \leq 1{,}0$.

Assim, uma aproximação razoável é $\varepsilon \approx \varepsilon_n$

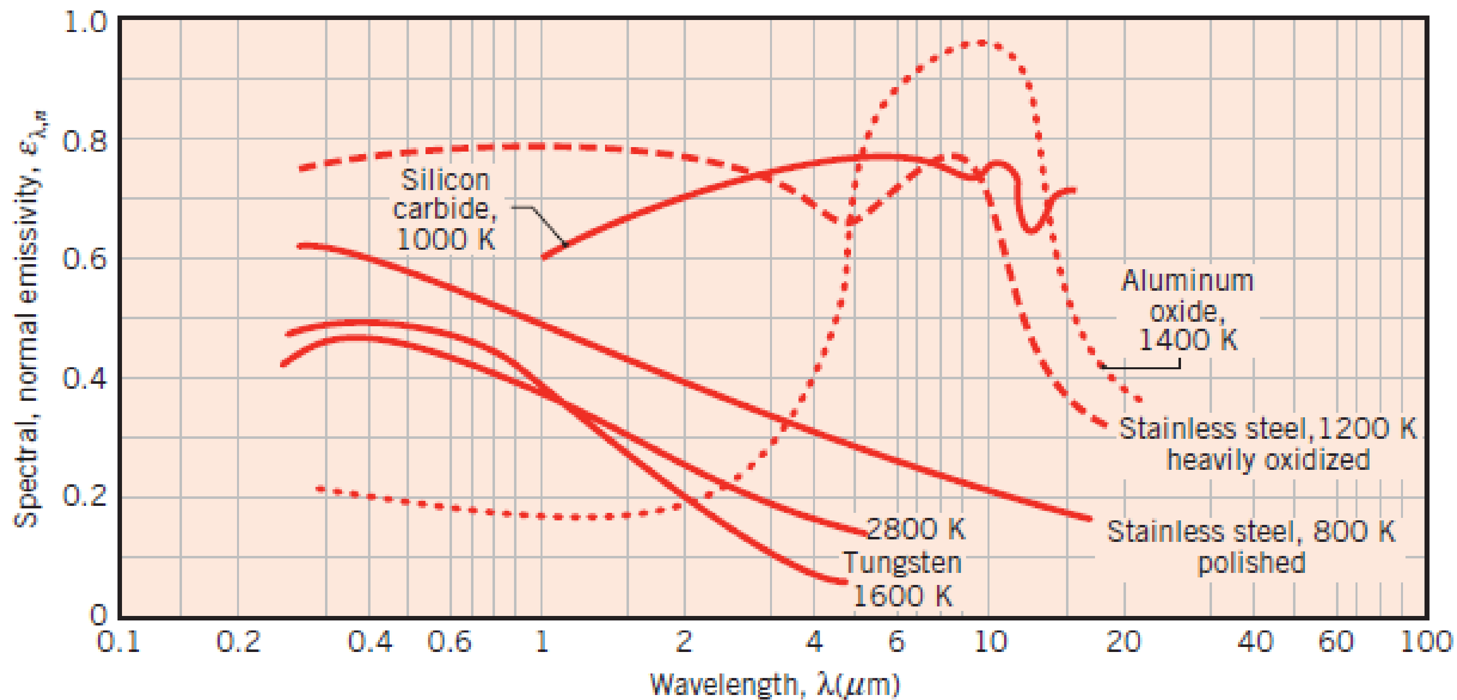


FIGURE 12.17 Spectral dependence of the spectral, normal emissivity $\varepsilon_{\lambda,n}$ of selected materials.

Emissão de Superfície Real

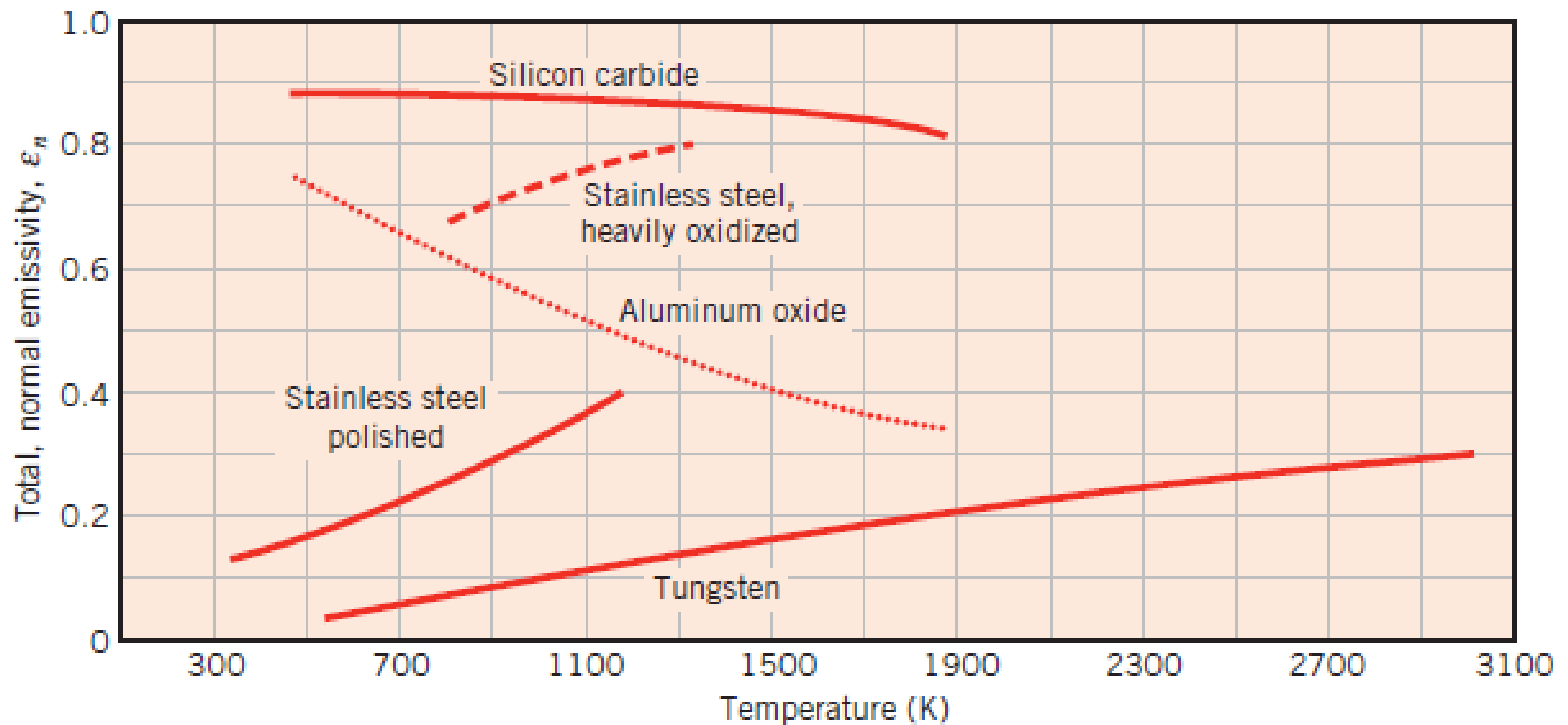


FIGURE 12.18 Temperature dependence of the total, normal emissivity ε_n of selected materials.

Emissão de Superfície Real

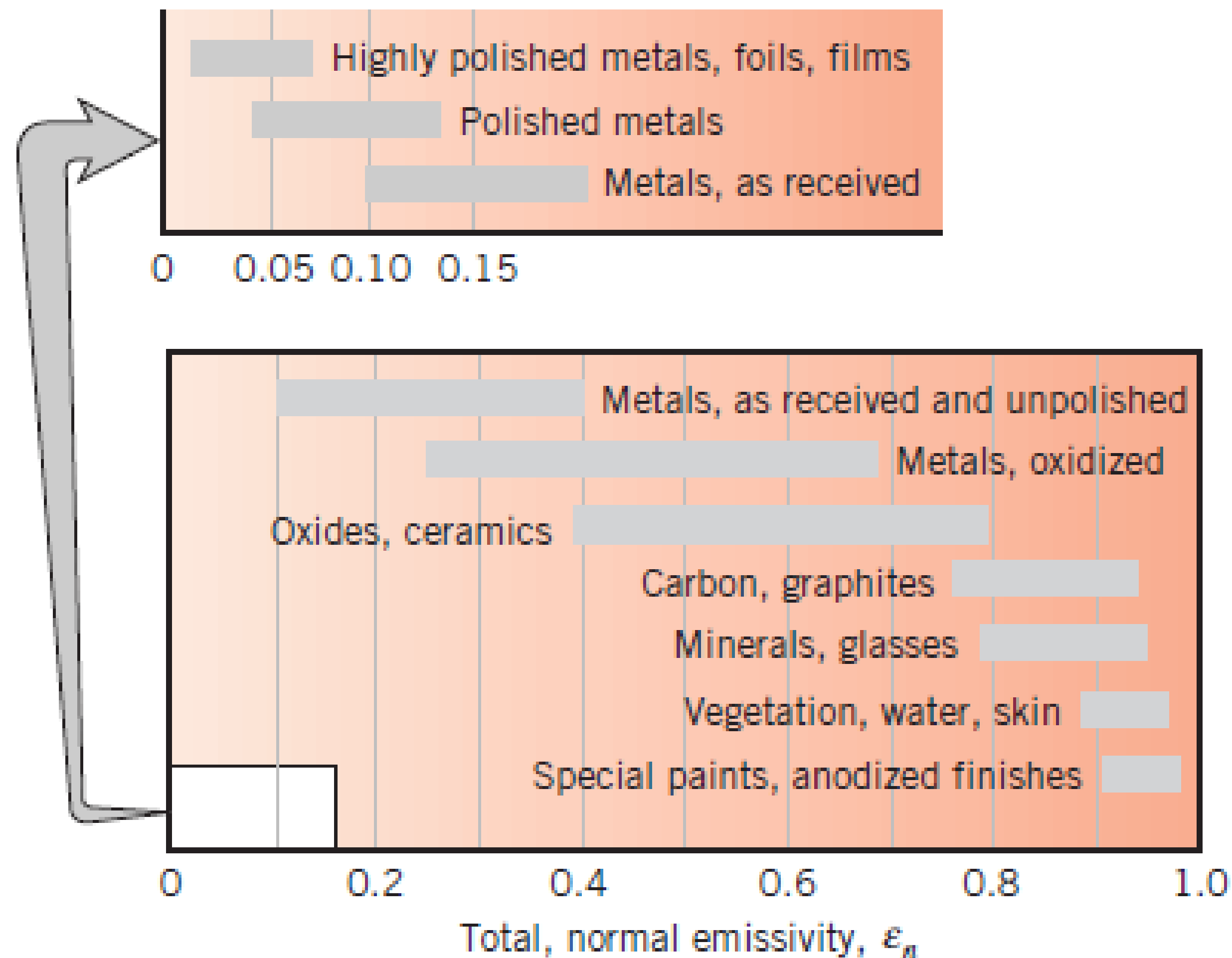


FIGURE 12.19 Representative values of the total, normal emissivity ε_n.

Outras Propriedades Radiantes

A absorvidade (absortância) hemisférica (já aplicada a média direcional) espectral (pois ainda depende de λ) é a razão entre a energia absorvida e a energia irradiada, para um dado comprimento de onda:

$$\alpha_\lambda(\lambda) \equiv \frac{G_{\lambda,\text{abs}}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)}$$

A absorvidade (absortância) hemisférica total é a média integrada sobre a direção e o comprimento de onda. É a fração da irradiação total absorvida por uma superfície:

$$\alpha \equiv \frac{G_{\text{abs}}}{G} \longrightarrow \alpha = \frac{\int_0^\infty \alpha_\lambda(\lambda) G_\lambda(\lambda)\, d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda(\lambda)\, d\lambda}$$

A absorvidade (absortância) é, aproximadamente, independente da temperatura da superfície, diferentemente da emissividade ε.

Outras Propriedades Radiantes

A reflectância hemisférica (já aplicada a média direcional) espectral (pois ainda depende de λ) é a razão entre a energia refletida e a energia irradiada, para um dado comprimento de onda:

$$\rho_\lambda(\lambda) \equiv \frac{G_{\lambda,\text{ref}}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)}$$

A reflectância hemisférica total é a média integrada sobre a direção e o comprimento de onda. É a fração da irradiação total absorvida por uma superfície:

$$\rho \equiv \frac{G_{\text{ref}}}{G} \longrightarrow \rho = \frac{\int_0^\infty \rho_\lambda(\lambda) G_\lambda(\lambda)\, d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda(\lambda)\, d\lambda}$$

Outras Propriedades Radiantes

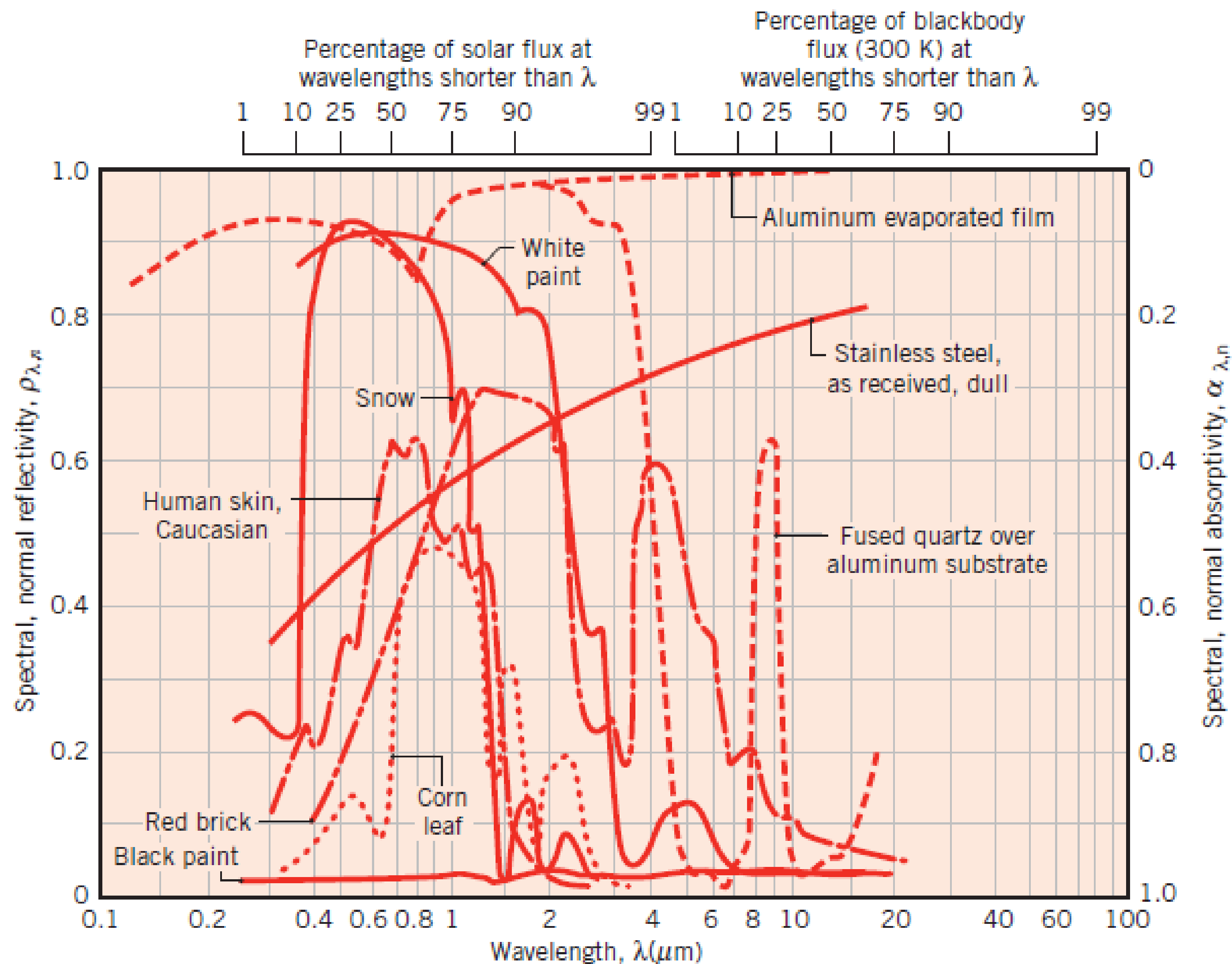


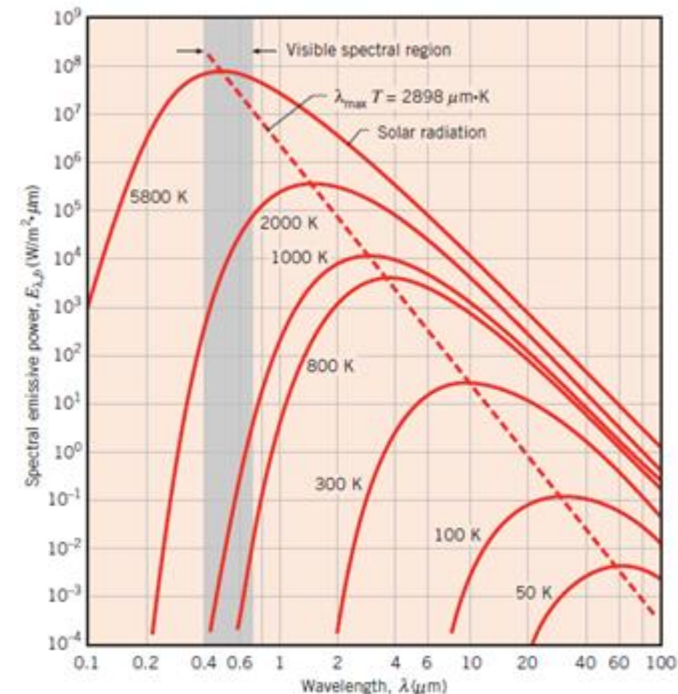
FIGURE 12.22 Spectral dependence of the spectral, normal absorptivity $\alpha_{\lambda,n}$ and reflectivity $\rho_{\lambda,n}$ of selected opaque materials.

Outras Propriedades Radiantes

Sobre absorção e reflexão:

Não existe efeito líquido dos processos de reflexão do meio, enquanto que a absorção tem o efeito de aumentar a energia térmica do meio.

A absorção e a reflexão da superfície são responsáveis pela nossa percepção de cor: a menos que a superfície esteja a uma temperatura muito alta (Ts>1000K) – tal que ela é incandescente – a emissão é concentrada na região do infravermelho (ver figura de distribuição de Planck) e é, portanto, imperceptível ao olho humano.



A cor é então devida à reflexão e absorção relativas à parte visível da irradiação que é incidente do sol ou de outra fonte artificial de luz. Quando vemos vermelho, a superfície absorve os componentes azul, verde e amarelo e reflete preferencialmente o vermelho.

Porém, o fato de uma superfície refletir regiões do espectro visível, como as superfícies brancas que refletem toda radiação no espectro visível, podem absorver radiação no espectro infravermelho, como ocorre com a neve, que por isso, atua como um corpo negro em comprimentos de onda altos.

Outras Propriedades Radiantes

A transmitância hemisférica (já aplicada a média direcional) espectral (pois ainda depende de λ) é a razão entre a energia transmitida (que atravessa o meio) e a energia irradiada, para um dado comprimento de onda:

$$\tau_\lambda = \frac{G_{\lambda,\mathrm{tr}}(\lambda)}{G_\lambda(\lambda)}$$

A transmitância hemisférica total é a média integrada sobre a direção e o comprimento de onda. É a fração da irradiação total transmitida por uma superfície:

$$\tau = \frac{G_{\mathrm{tr}}}{G} \longrightarrow \tau = \frac{\int_0^\infty \tau_\lambda(\lambda) G_\lambda(\lambda)\, d\lambda}{\int_0^\infty G_\lambda(\lambda)\, d\lambda}$$

Outras Propriedades Radiantes

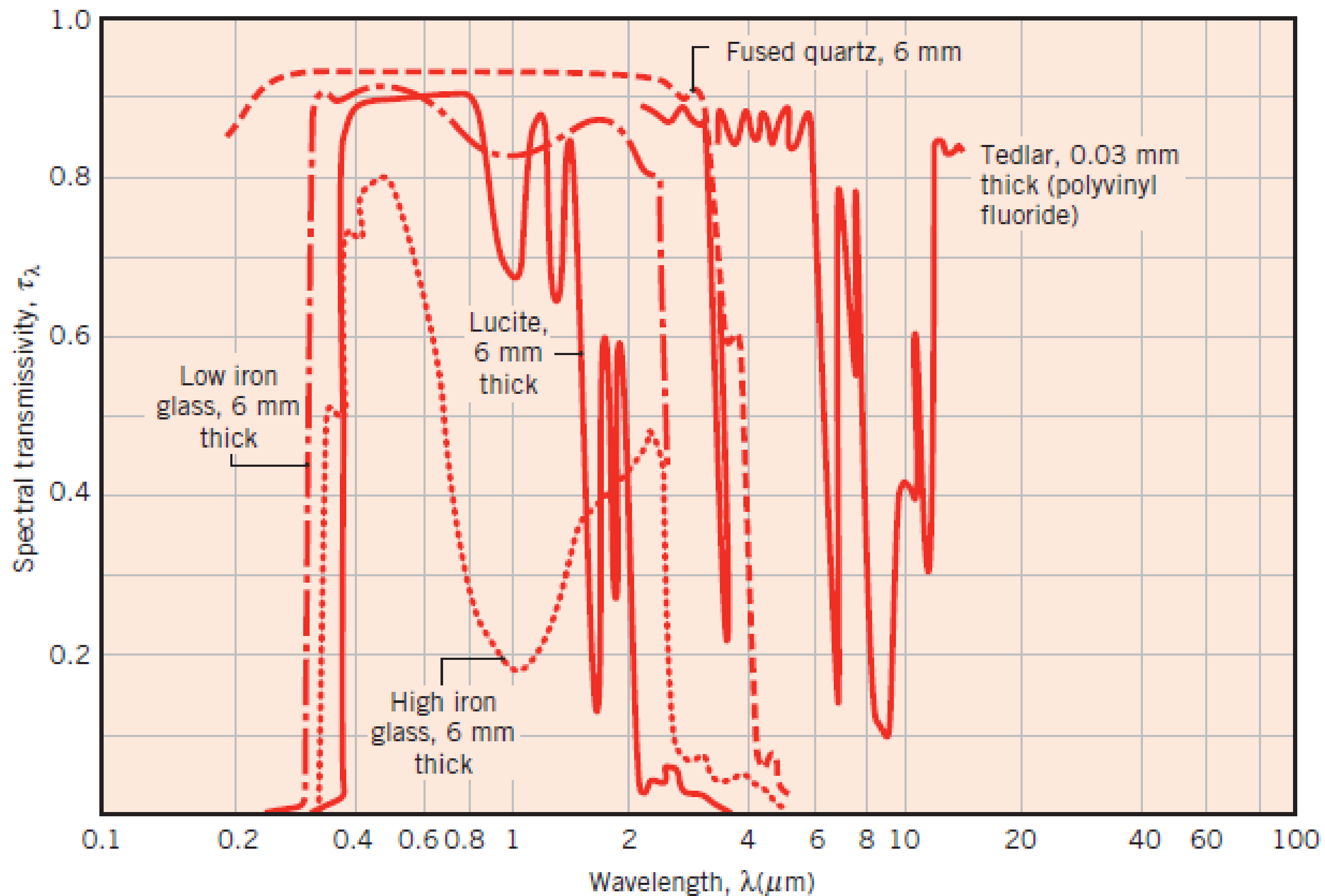
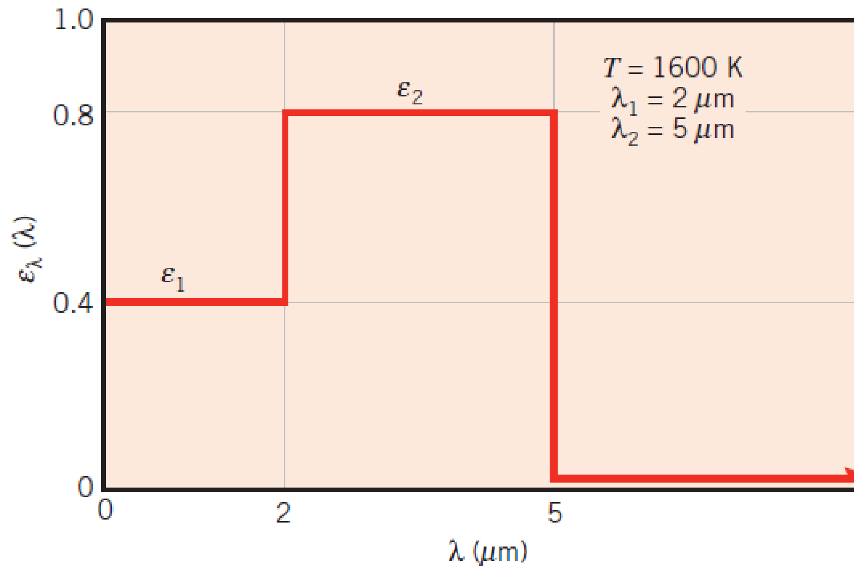


FIGURE 12.23 Spectral dependence of the spectral transmissivities τ_λ of selected semitransparent materials.

Outras Propriedades Radiantes

Exemplo 12.5: superfície difusa a 1600K com emissividade espectral hemisférica dada:



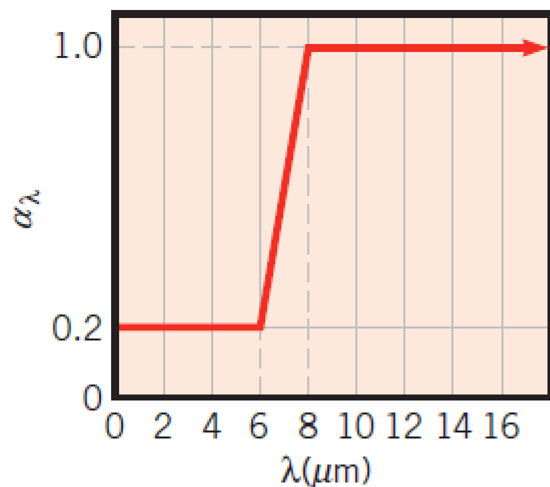
Pede-se:

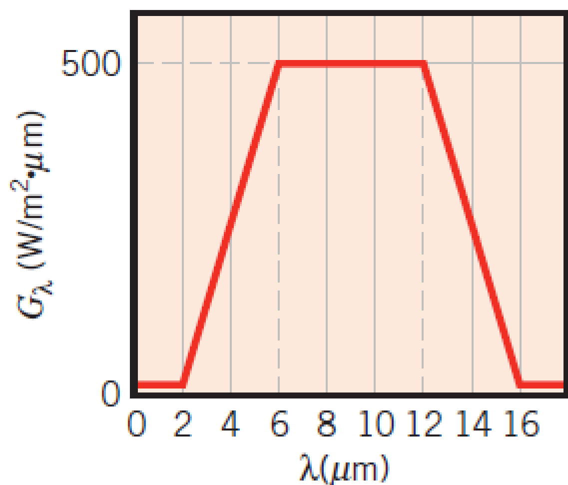
a) Emissividade hemisférica total

b) Poder emissivo total

Outras Propriedades Radiantes

Exemplo 12.7: uma superfície opaca tem absortância espectral hemisférica e irradiação espectral dadas abaixo:



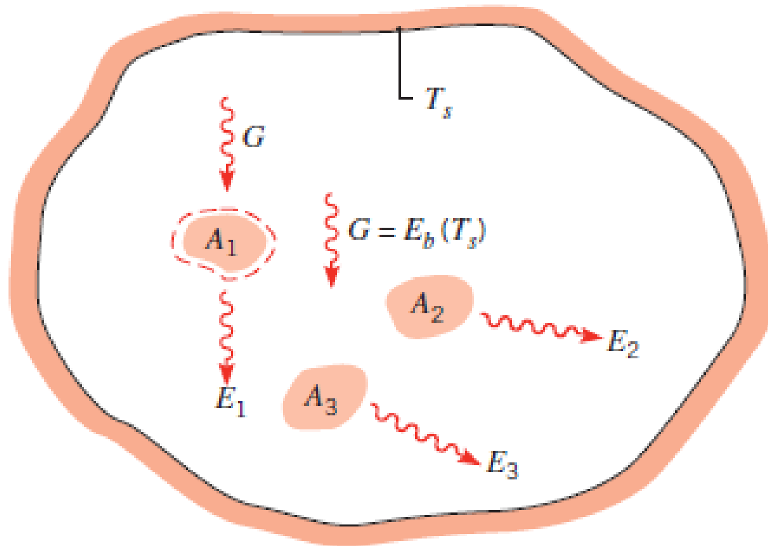


Pede-se:

a) Distribuição espectral da reflectância
b) Absortância hemisférica total
c) Se a superfície está inicialmente a 500K e tem emissividade hemisférica total de 0,8, como sua temperatura irá mudar com a irradiação?

Lei de Kirchhoff

Considere um grande invólucro isotérmico de temperatura de superfície Ts, com diversos pequenos corpos confinados em seu interior.



Como são corpos pequenos em relação ao invólucro, eles têm influência desprezível no campo de radiação, que é devido à emissão e reflexão pela superfície do invólucro.

Essa superfície forma uma cavidade de corpo negro, cuja emissão é portanto $E_b=\sigma T_s^4$, e assim, a irradiação sobre qualquer corpo no seu interior é $G=E_b(Ts)$.

No equilíbrio térmico: T1=T2=...=Ts

Aplicando um balanço de energia à superfície de controle do corpo 1:

$$\alpha_1 G A_1 - E_1(T_s) A_1 = 0 \longrightarrow \frac{E_1(T_s)}{\alpha_1} = E_b(T_s) \longrightarrow \frac{E_1(T_s)}{\alpha_1} = \frac{E_2(T_s)}{\alpha_2} = \cdots = E_b(T_s)$$

Lei de Kirchhoff

Conclusões:

- Uma vez que $\alpha \leq 1$, $E(Ts) \leq E_b(Ts)$, ou seja, nenhum corpo emite radiação maior que o corpo negro a uma mesma temperatura. Assim, o corpo negro é um emissor ideal.

- Uma forma alternativa da Lei de Kirchhoff é que:

$$\frac{\varepsilon_1}{\alpha_1} = \frac{\varepsilon_2}{\alpha_2} = \cdots = 1$$

- Logo, para qualquer superfície no invólucro:

$$\varepsilon = \alpha$$

- Se a irradiação for difusa ou se a superfície for difusa, pode-se estender o resultado:

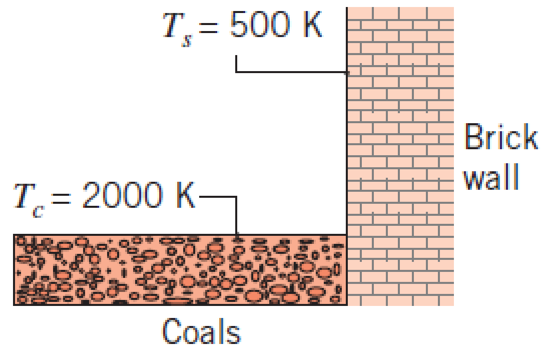
$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

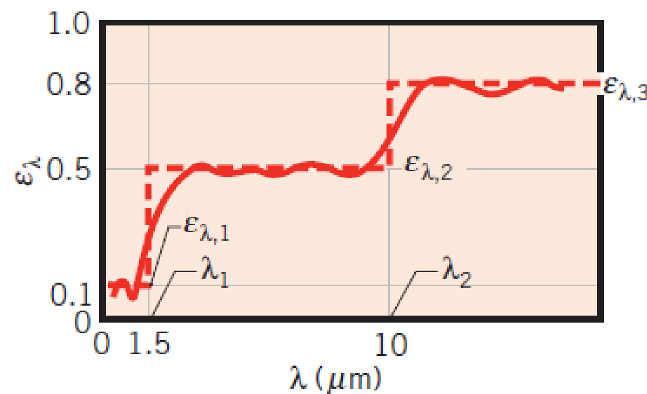
- Se as propriedades espectrais e direcionais forem consideradas, a lei de Kirchhoff pode ser aplicada sem restrições, pois a emissividade direcional espectral e absorvidade (absortância) direcional espectral são propriedades inerentes da superfície:

$$\varepsilon_{\lambda,\theta} = \alpha_{\lambda,\theta}$$

Lei de Kirchhoff

<u>Exemplo 12.9</u>: uma parede de tijolo refratário difusa de temperatura T_s=500K tem emissividade espectral abaixo e está exposta a um leito de carvão a 2000K.





Pede-se:

a) Emissividade hemisférica total da parede de tijolo
b) Poder emissivo total da parede de tijolo
c) Absortância da parede de tijolo à irradiação do carvão

Superfície Cinzenta

Superfície cinzenta é aquela para a qual a absorvidade (absortância) hemisférica espectral α_λ e a emissividade hemisférica espectral ε_λ independem do espectro, ou seja, do comprimento de onda λ.

Dessa forma, $E_\lambda/E_{b,\lambda}$ é a mesma para todos os comprimentos de onda da energia emitida à mesma temperatura e; $\alpha = \alpha_\lambda$ para todos os comprimentos de onda.

Nesse caso:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\lambda,o}\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda,b}(\lambda,T)\, d\lambda}{E_b(T)} = \varepsilon_{\lambda,o}$$

$$\alpha = \frac{\alpha_{\lambda,o}\int_{\lambda_3}^{\lambda_4} G_\lambda(\lambda)\, d\lambda}{G} = \alpha_{\lambda,o}$$

$$\alpha = \varepsilon = \varepsilon_{\lambda,o}$$

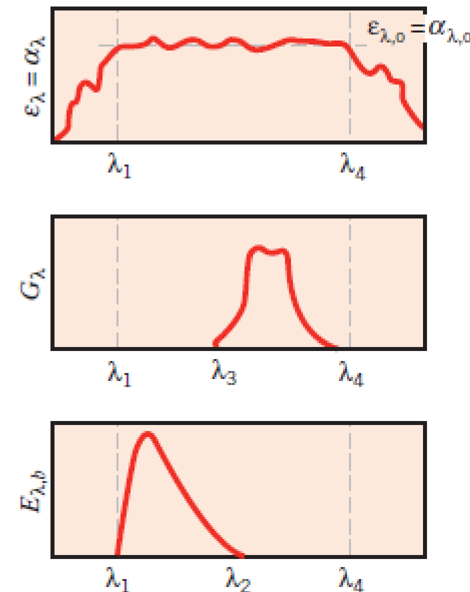


FIGURE 12.26 A set of conditions for which gray surface behavior may be assumed.

Superfície Cinzenta

Exercício 12.61: quatro superfícies difusas com as características espectrais mostradas estão a 300K e são expostas à irradiação solar. Quais superfícies podem ser consideradas cinzas?

